

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.22.017

# 城市排水系统监测体系的设计与应用

江山<sup>1</sup>, 康丹<sup>1</sup>, 李琦<sup>2</sup>, 肖雪莹<sup>1</sup>

(1. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430021; 2. 武汉市武昌区水务和湖泊局, 湖北 武汉 430061)

**摘要:** 在“数字化转型”的时代背景下,“智慧水务”成为水行政管理部门亟需落实的一项重要任务,而如何准确获取和识别城市排水系统状态信息,是当前智慧水务建设中关注的重点和难点。围绕城市排水系统特点,结合武汉市武昌区的实际情况及现状,提出了具体监测需求、技术路线和建设方案,并就监测体系建成后的数据应用场景进行了介绍,以解决实际监测体系建设中存在的需求不清晰、点位设置不合理、数据应用场景不明确等问题,可为其他城市排水系统监测体系建设提供一定参考。

**关键词:** 智慧水务; 排水系统; 监测需求; 监测方案; 应用场景

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)22-0105-05

## Design and Application of Urban Drainage System Monitoring

JIANG Shan<sup>1</sup>, KANG Dan<sup>1</sup>, LI Qi<sup>2</sup>, XIAO Xue-ying<sup>1</sup>

(1. Wuhan Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430021, China;  
2. Wuchang District Water and Lake Administration of Wuhan City, Wuhan 430061, China)

**Abstract:** Under the background of “digital transformation”, “smart water management system” has become an important task that water administration departments need to urgently implement. How to accurately obtain and identify the information of urban drainage system is the key point and difficulty of current smart water construction. According to the characteristics of urban drainage system, combining the reality of Wuchang District, Wuhan City, the specific monitoring requirements, technical route, and the construction scheme are proposed, and the data application scenarios after completion of the monitoring system are introduced, in order to solve the actual problems existing in the construction of monitoring system, such as unclear demand, unreasonable set of points, and unclear data application scenario. It can provide some reference for the construction of other drainage system monitoring systems.

**Key words:** smart water management system; drainage system; monitoring requirement; monitoring scheme; application scenario

近年来,城市“看海”、水体“黑臭”等现象频繁出现,引起了国家和各地政府高度重视。为了提升水务管理效率和水平,有效缓解城市突出水问题,水务行业在“数字政府”和“智慧城市”理念号召下,提出了“智慧水务”建设构想。

排水系统监测体系是智慧水务建设中一项重要

内容,通过监测能够让管理人员掌握排水系统实时状态,从而实现排水系统的优化调度和精准管理<sup>[1-3]</sup>。由于城市排水系统组成要素多、体量大、敷设隐蔽、位置分散等特点,导致部分地区在监测体系建设中会不同程度地存在需求不清晰、点位设置不合理、数据应用场景不明确等问题,难以发挥实际监

测效益。

为此,围绕城市排水系统特性,从水务管理部门应用需求出发,提出了排水系统监测体系建设方案,并结合武汉市武昌区具体案例介绍了监测数据在实际业务中的应用场景,以期为其他城市建设提供参考。

## 1 监测体系建设方案

### 1.1 建设思路

排水系统监测体系建设的技术路线如图1所示。由图1可知,监测体系可分为监测需求分析、监测点位设计、设备安装调试、设备运行维护四个阶段。其中,需求分析是监测布点的前提条件,点位设计需要在满足实际需求的基础上,结合监测对象特性,提出相应设计方案。设备安装要注意复核现场安装环境,以便及时更新调整设备位置。设备运维则是确保监测设备正常运转以及监测数据长期有效的重要保障。

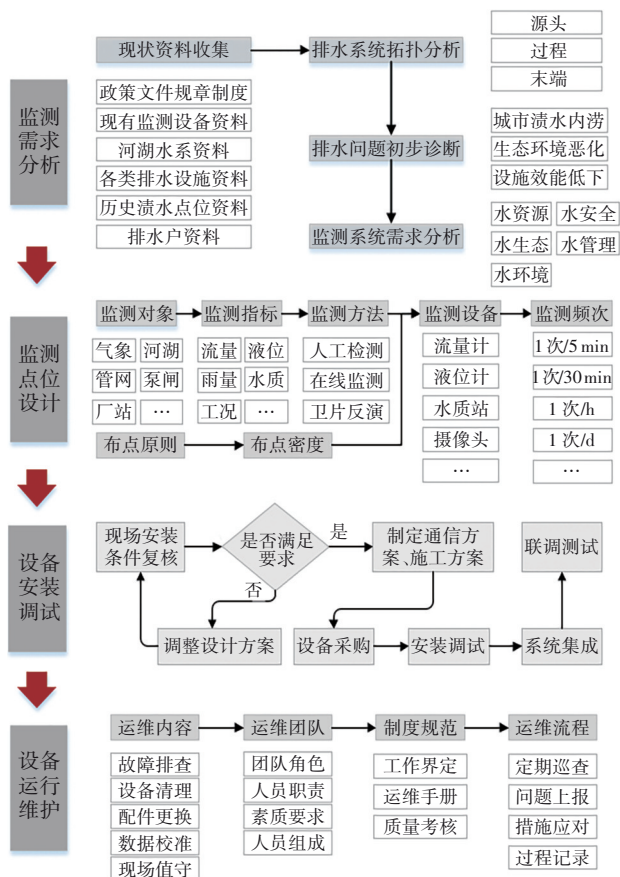


图1 排水系统监测体系建设的技术路线

Fig.1 Technical route of monitoring system construction for drainage system

### 1.2 需求分析

监测需求分析围绕水行政管理部门的主要业务开展,涉及城市水资源、水生态、水环境、水安全、水管理等5个方面、9项业务,具体如图2所示。结合业务工作特性和数据需求,进而梳理出了降雨、河湖水系、泵闸站、排水户、取水点、易涝点、雨污管网等9类监测对象以及流量、液位、水质、监控等24项具体监测内容,为下一步监测布点方案设计指明了方向。

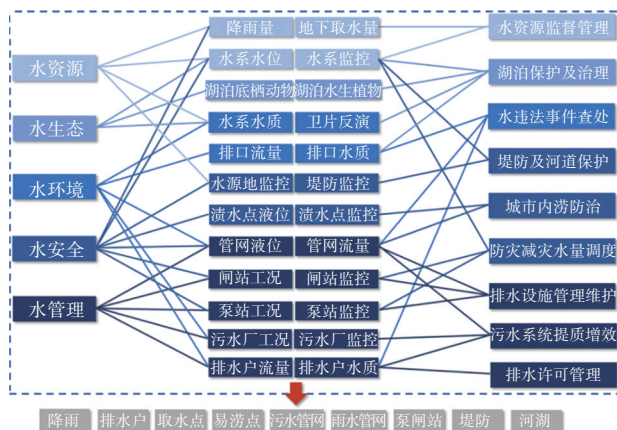


图2 水务业务需求与监测内容关系

Fig.2 Relationship between demand and monitoring content of water management work

### 1.3 监测布点

城市排水系统监测主要目的是为了能够产出有效数据来支撑水务管理人员业务应用,提升管理效率和水平。在监测布点时,应当遵循现有监测设备和新建设备相结合、分散监测与集中监测相结合、全面监测和重点区域监测相结合、功能指标和经济指标相结合、系统性和可实施性相结合的总体原则。

根据监测需求分析,监测对象可进一步划分为降雨、排水户、取水点、易涝点、污水管网、雨水管网、泵闸站、堤防、河湖水系等。

围绕9类监测对象,结合现行标准规范,提出了相应的布点原则及布点密度,具体如表1所示。其中,排水管网监测以各级排水分区为单元,按照网格化监测思路进行设计,为后期突发事件逐级溯源和政府部门单元管理提供支撑。

在指标选取上,考虑到排水管道内环境的复杂性,建议优先选择相对稳定的指标,如液位、COD、电导率等。

表1 排水系统监测布点方案  
Tab.1 Monitoring point layout scheme for drainage system

监测对象	监测方法	相关设备	监控内容	布点原则/密度
降雨	在线监测	雨量站	降雨量	依据城市规模确定站点数量,一般为 2~20 站/100 km <sup>2</sup>
排水户	在线监测、人工检测	流量计、水质传感器	排水流量、水质	根据排水户性质、排水规模和污染程度等综合确定,重点排水户原则上应全部监测
取水点	在线监测	流量计、水质站	取水流量、水质	根据地表水及地下水取水构筑物情况确定,规模以上取水点应全部监测
易涝点	在线监测、视频监控	液位计、摄像头	管道液位、地面积水水位、现场情况	涵洞桥隧以及地势低洼等易涝处液位信息应全部监测;易涝点附近监控画面应尽可能从现状城市监控中筛选接入
污水管网及溢流口	在线监测	流量计、液位计、水质传感器	管道液位、流量、管道水质	对污水系统进行 1~5 级排水分区划分,在各级排水分区末端管道上设置,布点密度应结合具体需求确定
雨水管网及排口	在线监测、人工检测	流量计、液位计、多参数水质站、自动取样器	管道液位、流量、管道水质	对雨水系统进行 1~5 级汇水分区划分,在各级汇水分区末端管道上设置,布点密度应结合具体需求确定;规模以上雨水排口应全部监测
泵闸站	自动及信息化改造	液位计、PLC、摄像头	前池/闸前闸后液位、泵机/闸机运行状态、现场情况	直接管辖泵闸站应全部建设,系统关联泵闸站应尽可能接入工况信息
堤防	视频监控、无人机巡检	摄像头、无人机	现场情况	堤防穿堤构筑物、险工险段以及抢险物资存放处应布设视频监控;汛期全线应进行无人机巡检
河湖水系	在线监测、人工检测、视频监控	水位计、多参数水质站、浮船、摄像头	河湖水系液位、水质、水面情况	湖泊进出口、湖中心,河流、渠道上下游断面设置水位计、水质站;结合雨水、溢流排口的位置布设河湖水系视频监控;湖泊水质人工采样点可采用网格法设置

1.4 设备安装

在设备安装前,应根据设计图纸进行详细现场踏勘,确保安装位置准确无误,安装环境符合要求。同时应附上附近高程基准点,测量安装点位相应的高程信息,为后续数据应用统一高程标准。

设备安装方法需要根据现场实际情况选择,常见管道监测设备安装方式包括胀圈法、L杆法以及浮板/浮船法等。安装时应尽量规避现场环境的不利影响(如积泥、冲刷等)。设备供电方式可采用充电电池(需要定期充电)、市电(需要协商引电)以及太阳能电池(需要架设立杆)等,常见通信方式包括 4G、GPRS、NB-LoT 以及光纤等。

安装作业前应对各项设备及附属装置性能进行全面检查、测试和联试,包括蓄电池、各类传感器、远程终端单元以及一体化监测站等。设备安装后应对设备运行状况进行校核,包括设备功能测试和通信测试等,检测设备功能的完整性。

1.5 运行维护

排水管道监测设备安装环境一般较为复杂,容易发生泥沙沉积、异物覆盖以及传感器表面微生物

滋生等情况,会对监测数据产生较大的影响。因此,监测设备运维工作十分重要,建议及早明确运维主体、运维内容和相应的运维标准等,以确保监测数据的连续性和可用性。

运维责任主体应配备技术、作业、安全监督等人员以及相应配套设备和工具,提前制定好运维计划和各类运维记录清单,一般情况下 1~2 个月对设备巡查运维一次,汛前、汛中应加密维护。相关人员依据计划开展设备清洗、数据校准、耗材更换、故障维修以及通信费用缴纳等运维工作。

2 监测系统建设案例

2.1 案例简介

武昌区是武汉市最早启动智慧水务建设的中心城区之一,行政区划面积 71.27 km<sup>2</sup>,人口约 130 万人。2018 年,武昌区启动了智慧水务一期工程,完成了全区约 2 240 km 市政和社区排水管道勘测工作,为后续项目推进打下了坚实基础。2020 年武昌区启动智慧水务二期工作,开展水务综合信息平台建设工作,其中一项重要任务就是武昌区排水监



测系统建设。

按照城市排水监测系统建设思路,武昌区共设计并实施了雨量监测16处(其中14处为现状接入),典型排水户监测11处,取水点监测5处,易涝点监测31处(全部为现状接入),污水管网监测49处,雨水管网监测92处,泵闸站监测22处,河湖监测12处,同时新增摄像监控119处,整合已有视频资源500余路。

## 2.2 数据应用场景

武昌区监测体系建成后产生了大量监测数据,在突发事件告警、污染溯源分析、泵闸站精准调度和模型率定与验证等方面进行了应用探索。

### 2.2.1 突发事件告警

监测数据能够直观反映排水系统状态,在合理设置数据阈值后,可实现渍水内涝和水体污染事件实时告警。在武昌区渍水告警模块中,系统以井盖高程、井盖口下1 m高程、管顶高程作为限值进行设定,当某处液位高程超过此限值时,系统会实时推送高、中、低风险告警信息,帮助水务工作者预判渍水风险和快速锁定渍水位置。同时结合视频监控画面,也能够对渍水事件进行过程分析和记录,帮助管理人员总结处理处置经验(见图3)。

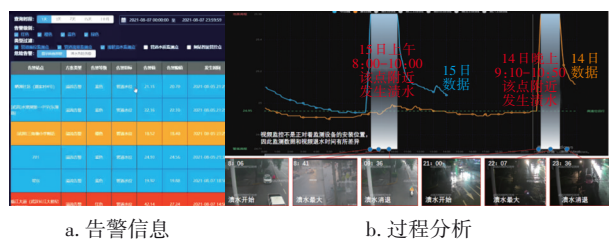


图3 渍水事件告警及过程分析示例

Fig.3 Example of waterlogging event alarm and process analysis

### 2.2.2 问题溯源分析

造成渍水内涝和水体污染等事件的原因往往与城市排水系统有关,但排水系统涉及面广、排水链路多,想要弄清问题源头,需要花费大量时间和精力。而通过排水系统网格化监测,能够快速进行逐级溯源,从而大幅缩小问题核查范围。在武昌区实际应用中发现,原本需要排查3 km<sup>2</sup>的地下管道,现通过区域监测数据分析,直接将问题源头锁定在0.5 km管道上,显著降低了管道排查成本投入。

### 2.2.3 泵闸站精准调度

泵闸站是排水系统中重要的组成部分,泵闸调

度应考虑排水系统的整体运行状态,而排水系统监测数据正是实现厂网湖渠一体化调度的基础条件<sup>[4]</sup>。在武昌区案例中,某渍水点下游设有一个排水闸站,原先闸站是以前池液位达到设计工况为启动条件,但在短历时强降雨条件下,由于闸站开启不及时,导致上游容易出现渍水现象,给周边居民出行带来了不便。在渍水点安装监测设备后,闸站启动标准由原先的前池液位变成了渍水点液位,由原来在渍水点液位高程23.3 m时启动提前到了22.3 m启动,泵闸站调度更加精准和及时,此处渍水点仅通过闸站管理就得以消除(见图4)。

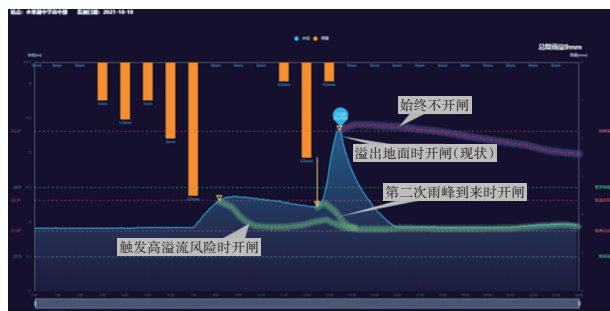


图4 泵闸站调度方案分析

Fig.4 Analysis of dispatching scheme of pump gate station

### 2.2.4 排水模型率定与验证

监测数据是模型率定及验证的前提条件。在模型搭建完毕后,需要反复对比实际监测和模拟结果的数据差异,不断修正模拟参数以提高模型准确性,使模型不断趋近于实际情况。武昌区案例中搭建了约2 km<sup>2</sup>排涝模型进行试点应用。模型初次搭建后,在监测数据基础上计算出该模型纳什系数为0.46,表明模拟结果误差偏高,通过多场降雨模拟与率定,最终将纳什系数提升至0.85,验证了模型的稳定性与准确性(见图5)。

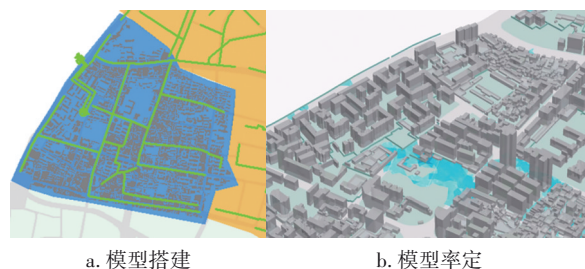


图5 模型搭建与率定

Fig.5 Model building and calibration

## 3 建设难点与挑战

如何提升排水系统监测数据的“量与质”是当

前行业面临的主要难点与挑战。

从“量”角度来说,主要关注点在监测对象种类,监测点位覆盖面以及监测功能指标能否采集到足够数据来支撑业务应用。而在实际建设中,“量”的提升往往带来工程建设成本和运维管理工作量的显著增加,这无疑会给主管部门增添更大压力。

从“质”角度来说,主要关注点在监测数据的准确性与稳定性是否能够满足数据分析和智能化应用的要求。现阶段由于安装环境复杂性和监测设备稳定性问题,监测数据误差和质量问题难以避免,在进行实际分析和应用前,往往要花费大量精力对监测数据进行评价、筛选和修正,这在武昌和其他地区案例的数据应用中均有体现<sup>[5]</sup>。

因此,各地建设城市排水系统监测体系时,一方面可尝试探索“各方共建、统一管理”的模式,将监测设备纳入传统工程项目建设内容中,同步设计、同步建设、同步验收,而移交的监测设备资产则委托给专业机构进行集中运维,不断增加监测数据“量”的积累。另一方面,要注重对现场环境的踏勘,谨慎选择适宜的监测指标和监测设备,从设计层面避免无效数据的产生。同时政府部门也应加强引导,鼓励监测技术创新研发,推动国内监测设备更新换代,从硬件层面上提升数据指标的稳定性与准确性。

#### 4 结论

城市排水系统监测体系是当前智慧水务建设中的重要任务之一。一个全面立体的监测体系,能够帮助管理人员准确掌握排水系统动态信息,从而支撑实际工作开展,显著提升业务管理水平。武昌区排水系统监测体系已初步建成,在日常工作中发挥了重要作用,但如何对监测系统进一步扩面提质,还需要在实践中不断探索和研究。

#### 参考文献:

- [1] 卢汉清,郭天盛,郭捷. 宁波智慧排水体系构建及其发展探索[J]. 给水排水, 2016, 42(1):134-138.

LU Hanqing, GUO Tiansheng, GUO Jie. Construction and development of intelligent drainage system in Ningbo [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(1): 134-138 (in Chinese).

- [2] 魏琳,金霏霏. 城镇排水系统在线监测整体方案建设[J]. 四川环境, 2020, 39(6):188-191.

WEI Lin, JIN Feifei. Urban drainage system online monitoring overall program construction [J]. Sichuan Environment, 2020, 39 (6): 188-191 (in Chinese).

- [3] 王春华,杨超,方适明,等. 基于“互联网+”的排水智慧化管理研究及应用成效[J]. 中国给水排水, 2016, 32(12):30-33.

WANG Chunhua, YANG Chao, FANG Shiming, et al. Internet-based smart drainage management and application performance [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (12): 30-33(in Chinese).

- [4] 鄢琳,荣宏伟,谭锦欣,等. “源-网-厂-河”一体化智慧排水系统的构建设计[J]. 给水排水, 2021, 47(3): 150-154.

YAN Lin, RONG Hongwei, TAN Jinxin, et al. Construction and design of pollution source-drainage pipe network-sewage treatment plant-urban river integrated intelligent drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47 (3): 150-154 (in Chinese).

- [5] 郭效琛,李萌,杜鹏飞,等. 在线监测在城市排水数字化应用中的要点分析[J]. 净水技术, 2020, 39(12): 132-136.

GUO Xiaochen, LI Meng, DU Pengfei, et al. Analysis of the key points of on-line monitoring under the application of urban digital drainage [J]. Water Purification Technology, 2020, 39 (12): 132-136 (in Chinese).

作者简介:江山(1993-),男,安徽宿州人,硕士,工程师,主要研究方向为城市排水系统、城市水环境、智慧水务。

E-mail:1124433083@qq.com

收稿日期:2022-09-19

修回日期:2022-10-21

(编辑:衣春敏)